

## 電解生成된 염소에 의한 폐印刷回路基板으로부터銅의 浸出<sup>†</sup>

\*金珉奭\* · 李在天\* · 鄭鎭己\* · 金炳洙\* · 金銀暎\*\*

\*韓國地質資源研究院 資源活用素材研究部, \*\*科學技術聯合大學院大學校

## Leaching of Copper from Waste Printed Circuit Boards Using Electro-generated Chlorine in Hydrochloric Acid<sup>†</sup>

\*Min-seuk Kim\*, Jae-chun Lee\*, Jin-ki Jeong\*, Byung-su Kim\* and Eun-young Kim\*\*

\*Korea Institute of Geoscience and Mineral Resources, Minerals & Materials Processing Division

\*\*University of Science & Technology 30 Gajeong-dong, Yuseong-gu, Daejeon, 305-350, Korea

### 요 약

염산용액에서 전해생성된 염소를 이용하여 페프린터의 인쇄회로기판으로부터 동을 침출하는 연구를 수행하였다. 폐인쇄회로기판을 분쇄한 다음 입자크기가 0.6~1.2 mm인 비자성 성분을 선별하여 침출실험을 행하였다. 비자성 분쇄물 중 금속성분의 평균함량은 45 wt%이었으며, 동이 금속성분의 83.6 wt% 이었다. 1 M 염산용액에서 전해생성된 염소에 의한 동 침출반응은 전류밀도와 교반속도에 크게 영향을 받았다. 염산농도; 1 M, 전류밀도; 20 mA/cm<sup>2</sup>, 침출온도; 50°C, 침출시간; 180분, 교반속도; 600 rpm의 침출조건에서 동 침출율은 98%로서 침출액에서 농도는 3.69 g/l에 해당하였다. 동 침출반응에 대한 전해생성된 염소의 이용율은 교반속도가 높고 인가전류밀도가 낮을수록 높았다. 또한 침출반응 초기에는 알루미늄, 납, 주석 등의 기타금속 성분의 침출이 활발하고 동 침출반응은 억제되었다.

주제어 : 전해생성, 염소, 폐인쇄회로기판, 침출, 동

### Abstract

Electro-generated chlorine leaching of waste printed circuit boards was investigated in hydrochloric acid solutions. Non-magnetic component of 0.6~1.2 mm was prepared by grinding, magnetic separation, and sieving. The non-magnetic component of pulverized printed circuit board contained about 45% of metal component, in which copper was about 83.6%. The leaching rate of copper was greatly affected by current density and agitation speed. The leaching of copper up to 98% was achieved at 20 mA/cm<sup>2</sup>, 50°C, 180 minutes, and 600 rpm in 1 M HCl solutions. Increasing agitation and lowering current density enhanced utilization efficiency of electro-generated chlorine. Leaching of copper was suppressed at the initial stage, while the minor metal elements, such as aluminum, lead, and tin, were dominantly leached out.

Key words: electro-generation, chlorine, waste printed circuit board, leaching, copper

### 1. 서 론

인쇄회로기판(Printed Circuit Boards)은 전자기기가 작동하도록 하는 반도체 칩 등과 같은 주요 전자부품들이

부착되어 있는 핵심 구성요소로서 거의 모든 전자기기에 탑재되어 있다.<sup>1)</sup> 최근 들어 IT 산업의 비약적인 발전과 함께 전자기기의 생산 및 수요가 급증하고 있다. 이에 따라 사용 후 버려지는 폐전자기기의 발생량이 증가하고 있으며 이것은 거의 모든 전자기기에 탑재되어 있는 폐인쇄회로기판(Waste Printed Circuit Boards) 발생

<sup>†</sup> 2005년 6월 1일 접수, 2005년 8월 25일 수리

\* E-mail: redkms@rock25t.kigam.re.kr

량의 증가로 이어지고 있다.<sup>2,3)</sup>

폐인쇄회로기판에 함유되어 있는 금속성분들은 전자 기기의 종류에 따라 달라지지만 금(Au), 은(Ag), 팔라듐(Pd), 백금(Pt) 등과 같은 귀금속 이외에 동(Cu), 알루미늄(Al), 철(Fe), 니켈(Ni), 납(Pb), 주석(Sn), 아연(Zn) 등의 유기금속들이 함유되어 있다.<sup>4)</sup>

지금까지 폐인쇄회로기판의 재활용은 주로 동 건식제련소를 이용한 귀금속과 동의 회수에 초점이 맞추어져 왔다.<sup>5~7)</sup> 이러한 건식제련법은 형태가 다양한 종류의 스크랩을 구별 없이 처리할 수 있다는 장점이 있으나 설비투자비가 많이 들고, 대기오염, 귀금속의 손실, 상당량의 슬래그 발생 및 일반금속의 회수율이 낮다는 단점이 있다.<sup>4)</sup> 따라서 건식제련에 비하여 환경친화공정, 주요 금속성분들의 용이한 분리, 낮은 전력소비와 시약 재활용에 따른 공정비용의 저감 등과 같은 장점을 가지고 있는 습식제련법에 대한 관심이 높아지고 있다.<sup>8~11)</sup>

습식제련기술을 이용하여 폐인쇄회로기판으로부터 금속을 회수하는 주요 공정들은 침출, 분리정제, 회수공정 등으로 구성된다. 일반적으로 분리정제 및 회수공정은 침출공정에서 사용되는 침출제의 종류에 따라 결정된다. 그리고 금속의 추출에 사용하는 침출제는 함유되어 있는 금속 또는 회수하고자 하는 금속의 종류에 따라 달라진다. 폐인쇄회로기판으로부터 금속의 추출을 위하여 다양한 침출제의 사용이 연구되었지만 보다 효율적이고 환경친화적인 침출제 및 침출공정의 개발이 요구되고 있다.<sup>4)</sup> 특히 습식제련공정의 주요 단점중의 하나인 폐수 발생량을 줄일 수 있는 기술개발이 시급하다.

이러한 방법 중의 하나가 외부에서 침출제를 계속 공급하지 않고 공정 내에서 전기화학적 방법으로 염소( $Cl_2$ )가스를 발생시키고 이를 침출에 이용하는 것이다. 염소수(aqueous chlorine)는 금속과의 반응성이 클 뿐만 아니라 대부분의 일반금속 염화물들이 물에 대한 용해도가 크기 때문에 적용성이 크다. 특히 공정 내에서 발생하는 염소를 침출에 사용하는 경우에는 염소가스를 외부에서 공급하는 침출공정보다도 염소 취급에 대한 위험성을 최소화하고 금속침출에 사용되는 화학물질과 에너지를 최소화할 수 있는 장점이 있다. 또한 밀폐된 침출반응조의 사용에 따라 환경친화적인 공정을 구성할 수

도 있다. 차세대 습식제련기술로 주목받고 있는 Cuprex 공정<sup>12)</sup>이나 Hydrocopper 공정<sup>13)</sup> 등에서는 공정 내에서 전기화학적 방법으로 염소( $Cl_2$ )를 제조하고 이를 직, 간접적으로 동의 침출에 사용하고 있다.

본 연구에서는 염산(HCl) 수용액을 전해액으로 사용하고 이로부터 염소를 전해생성 시켜 폐인쇄회로기판으로부터 동을 침출하는 기초연구를 수행하였다. 밀폐된 양극에서 염소를 전해생성함과 동시에 침출제로 사용하여 추가적인 염소원의 공급 없이 폐인쇄회로기판으로부터 동을 회수하는 고효율 습식공정에 대한 연구를 행하였다. 본 연구에서는 염산농도, 전류밀도, 인가전압, 반응온도, 교반속도, 반응시간 등 실험변수가 폐인쇄회로기판의 주 성분인 동의 침출과 염소의 유효이용에 미치는 영향을 조사하였다. 또한 폐인쇄회로기판으로부터 알루미늄, 납, 아연, 주석 등과 같은 다른 금속들의 침출거동을 조사하여 순도가 높은 동 침출액을 얻을 수 있는 침출조건을 도출하고자 하였다.

## 2. 실험방법

### 2.1. 실험재료

본 실험에서는 페프린터의 인쇄회로기판을 침출실험의 시료로 사용하였다. 침출실험을 위하여 먼저 페프린터 인쇄회로기판을 분쇄한 다음 자력선별을 행하여 자성 성분과 비자성 성분을 분리하였다. 비자성 성분 중에서 입자크기가 0.6~1.2 mm인 분쇄물을 선별하여 이를 침출실험의 시료로 사용하였다. 준비된 시료내의 금속성분 평균함량은 45 wt% 이었으며,  $\pm 5\%$ 의 편차를 나타내었다. 침출 실험용 시료중의 금속 및 비금속 성분의 조성은 Table 1과 같으며, 동과 알루미늄이 주된 금속 성분으로 각각 37.62%, 5.04% 함유되어 있었다.

### 2.2. 침출실험

전해생성 된 염소에 의한 폐인쇄회로기판으로부터 금속의 침출실험은 Fig. 1과 같은 실험장치를 이용하여 행하였다. 산화 및 환원 전극은 고순도 흑연으로 제작하였으며, 양극실(침출반응조)과 음극실은 음이온 교환막으로 분리된 침출장치를 구성하였다. 양극실과 음극실의

Table 1. Composition of the prepared sample for electro-generated chlorine leaching

Element	Cu	Al	Pb	Zn	Sn	Other metals	Non-metals
Average Content (wt%)	37.62	5.04	1.17	0.9	0.23	0.04	55.0

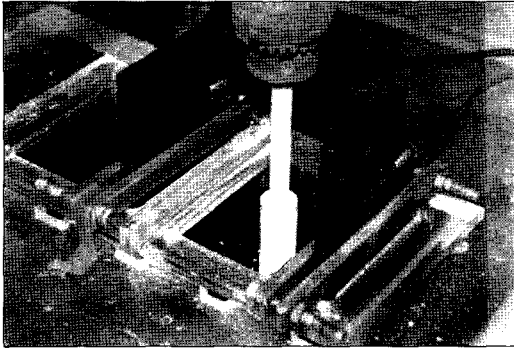


Fig. 1. Photograph of the leaching reactor using electro-generated chlorine.

용량은 각각 400 ml이었으며, 양극실의 용액교반을 위해 테프론 재질의 교반봉을 설치하였다. 그리고 반응온도는 침출실험 장치를 항온조에 설치하여 조절하였다.

침출실험은 농도가 0.5~2.0 M으로 조절된 염산용액을 각각 양극실과 음극실에 주입하고 온도를 20~50°C로 조절한 다음 침출반응조인 양극실에 시료 10 g을 장입하여 실시하였다. 시료를 양극실에 장입한 다음 전원공급기를 이용하여 양극실의 흑연전극에 산화전류를 인가함으로써 침출실험을 시작하였다. 일정시간마다 용액시료를 채취하여 금속이온들의 함량을 분석하고 이로부터 각 금속 원소들의 침출량을 계산하였으며 오차를 줄이기 위하여 침출잔사를 동시에 분석하였다. 그리고 인가된 산화전류는 모두 염소생성에 사용되었다는 가정 하에 전해생성된 염소의 침출반응에 대한 이용율을 계산하였다.

모든 실험에서 성분분석은 유도결합플라즈마원자방출 분광기(ICP-AES, Inductively Coupled Plasma-Atomic Emission Spectrometer, Jobin Yvon JY 38plus)을 이용하여 행하였다. 침출실험으로부터 채취한 용액시료는 ICP-AES 성분분석을 위해 일정 배율로 희석한 후 사용하였다.

### 3. 실험결과 및 고찰

#### 3.1. 전류밀도의 영향

1 M 염산용액에서 전류 인가 없이 폐인쇄회로기판으로부터 금속성분들의 침출거동을 조사하여 Fig. 2에 나타내었다. 산화전위가 수소발생전위보다 높아서 염산에 의한 화학적 침출이 미미할 것으로 예상되는 동을 제외한 알루미늄, 주석, 납 등과 같은 금속들은 침출시간에 따라 침출량이 증가하였다. 표준산화환원전위(Eo)가

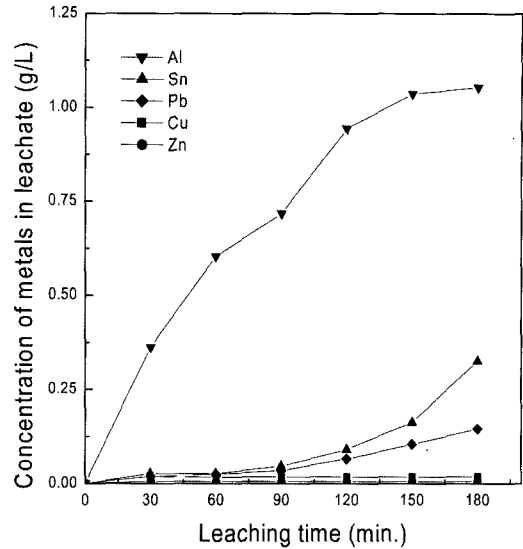


Fig. 2. Leaching behavior of metals in 1 M HCl solution at 50°C. (Agitation speed; 400 rpm, G-value; 6470)

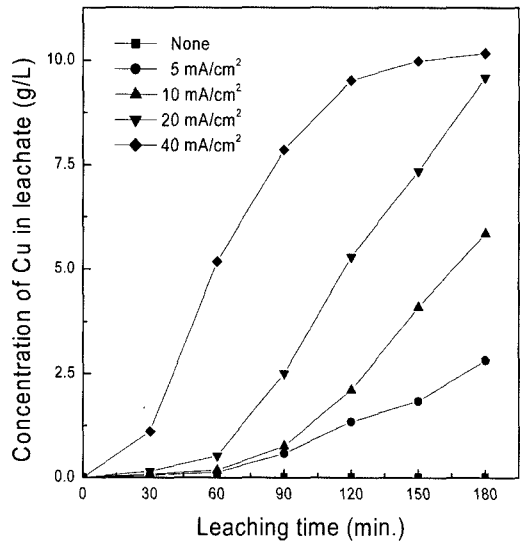


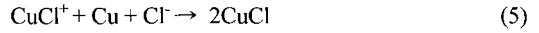
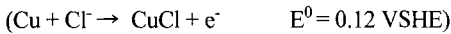
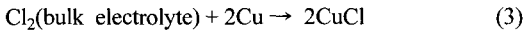
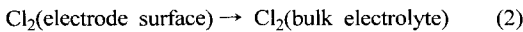
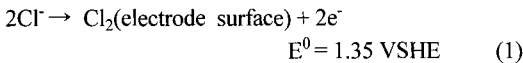
Fig. 3. Effect of current density on the leaching of Cu by electro-generated chlorine in 1 M HCl solution at 50°C. (Agitation speed; 400 rpm, G-value; 6470)

-1.66 V인 알루미늄의 침출율이 가장 높았으며, 침출시간이 30분 경과하였을 때 침출액의 알루미늄 농도는 0.36 g/l이었으나 150분에서는 1.04 g/l로 뚜렷이 증가하였다. 납은 60분경과 후 침출이 시작되어 180분에서 농도가 0.32 g/l에 달하였다. 동과 아연의 경우 침출시간이 증가함에 불구하고 침출량은 0.1% 미만으로서 침출액

에서 동 농도의 변화는 거의 없었다.

Fig. 3-4는 1 M 염산용액에서 전류를 인가하면서 급속성분들을 침출하였을 때 인가전류밀도 및 인가전압이 동 농도에 미치는 영향을 나타낸 그림이다. 인가전류밀도 및 전압이 증가함에 따라 동 농도의 침출속도가 증가하였으며, 또한 동 농도의 침출이 본격적으로 일어나는 시점이 빨라졌다. 즉, Fig. 3에서 보듯이 인가전류밀도가 10, 20 그리고 40 mA/cm<sup>2</sup>로 증가함에 따라 동 농도의 침출량이 급격히 증가하기 시작하는 시간이 각각 90분, 60분 그리고 30분으로 단축되었다. 인가전류밀도를 10, 20 그리고 40 mA/cm<sup>2</sup>로 하여 150분 동안 전류를 인가하였을 때 침출액에서 동 농도는 1.63, 2.94, 3.99 g/L로 증가하였다. 인가전류밀도를 40 mA/cm<sup>2</sup>로 하여 180분 동안 침출하면 동은 거의 100% 추출되었다.

염산 수용액을 양극 전해액으로 사용하고 이로부터 염소를 전해생성시켜 폐인쇄회로기판으로부터 동을 침출하는 반응기구는 다음과 같이 나타낼 수 있다.



염산 수용액에서 전류를 인가하면 양극실의 산화전극에서는 식 (1)에서와 같이 용액중의 염소이온이 전자를 잃고 산화되어 염소가 생성된다.<sup>14)</sup> 이와 같이 전해생성된 염소는 수용액에 용해하는 과정에서 조건에 따라 Cl<sub>2</sub>, HClO 산, ClO<sup>-</sup>, Cl<sup>-</sup> 등 여러 이온 종류로 존재하는데 본 실험조건인 1 M 염산용액에서는 주로 Cl<sub>2</sub>로 존재한다.<sup>15)</sup> 전해생성된 염소에 의한 폐인쇄회로기판으로부터 동 농도의 침출반응들은 식 (3), (4) 그리고 (5)와 같이 나타낼 수 있다.<sup>14)</sup> 폐인쇄회로기판으로부터 동이 식 (3)에 의하여 Cu<sup>+</sup> 이온으로 침출되더라도 계속적인 염소의 산화작용으로 식 (4)에 의한 추가 산화반응이 진행될 것으로 예상된다. 그러나 식 (5)와 같이 Cu<sup>2+</sup> 이온은 다시 동을 침출하는데 사용될 수 있으므로 이 반응까지 고려한다면, 결과적으로 식 (3), (4) 그리고 (5)로부터 1 M의 염소는 2 M의 동을 침출시키는 것을 알 수 있다.

### 3.2. 교반속도의 영향

Fig. 5는 50°C로 조절된 1 M 염산용액에서 인가전류 밀도를 10 mA/cm<sup>2</sup>로 하여 동을 침출하였을 때 교반속도가 동 농도에 미치는 영향을 나타낸 그림이다. 용액

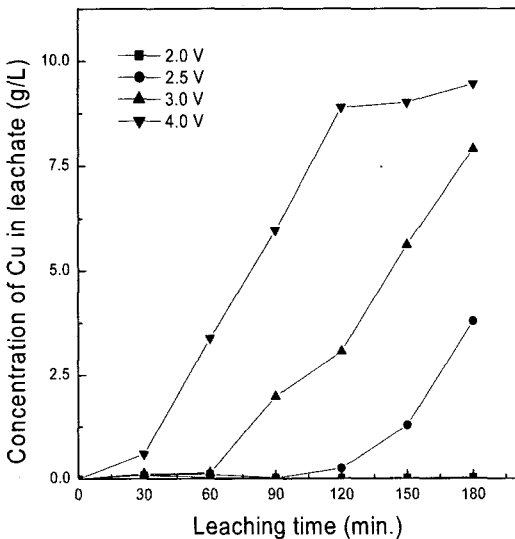


Fig. 4. Effect of cell voltage on the leaching of Cu by electro-generated chlorine in 1 M HCl solution at 50°C. (Agitation speed; 400 rpm, G-value; 6470)

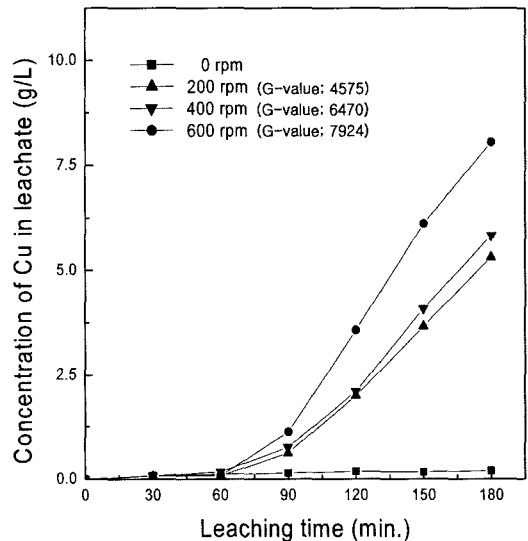


Fig. 5. Effect of agitation speed on the leaching of Cu by electro-generated chlorine in 1 M HCl solution at 50°C. (Applied current density; 10 mA/cm<sup>2</sup>)

의 교반 없이 전류를 인가하여 180분 동안 동을 침출하였을 때 침출액에서 동 농도는 0.2 g/l이었으며, 이것은 동이 거의 침출되지 않았음을 의미한다. 교반속도를 600 rpm으로 증가시키면서 180분 동안 침출하였을 때 동 농도는 8.05 g/l로서 침출율이 약 86%로 급격히 증가하였다. 식 (3)에 나타난 바와 같이 전해생성 되는 염소가 동 침출반응에 사용되기 위해서는 전극표면에서부터 물질이동을 통하여 동 표면과 접촉하여야 한다. 이러한 접촉의 기회는 용액 내에서 물질이동이 활발할수록 증가하게 된다. 따라서 Fig. 5에서 보는바와 같이 용액의 교반속도를 높여 염소의 이동속도를 증가시

키고 동 표면과의 접촉기회를 늘임에 따라 동 침출속도가 빨라졌다.

### 3.3. 침출온도의 영향

Fig. 6은 염산용액; 1 M, 인가전류밀도; 10 mA/cm<sup>2</sup>, 교반속도; 400 rpm의 조건에서 침출온도에 따른 동, 알루미늄, 주석, 납의 침출거동을 나타낸 것이다. 그림에서 보는바와 같이 침출반응 초기에는 낮은 온도에서 동 침출량이 많았으나 침출시간이 경과함에 따라 침출 온도가 높을수록 침출량이 많아졌다. 60분까지 동 침출량은 20°C > 30°C > 50°C 순으로 낮은 온도에서 많이

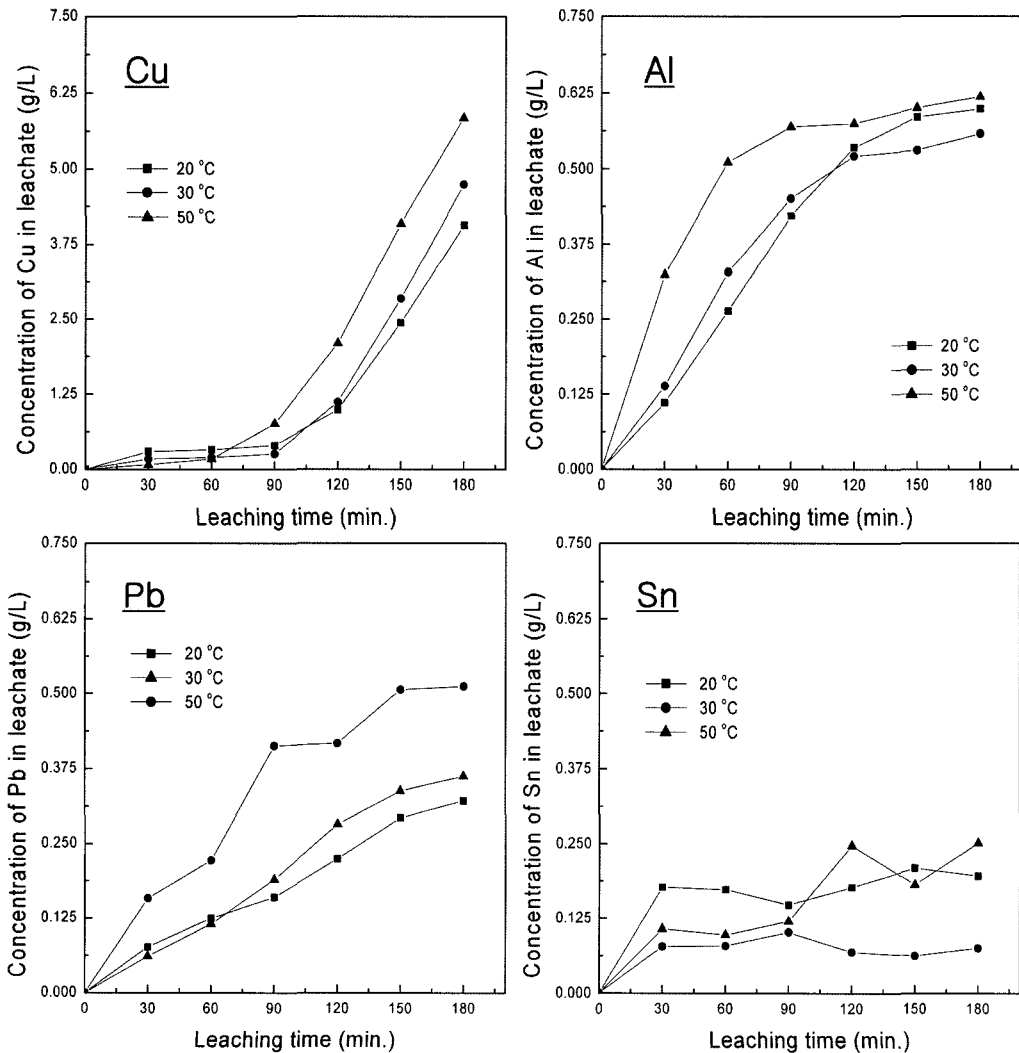


Fig. 6. Effect of leaching temperature on the leaching of metals by electro-generated chlorine in 1 M HCl solution under applied current density of 10 mA/cm<sup>2</sup>. (Agitation speed; 400 rpm, G-value; 4995 at 20°C; 6069 at 30°C; 6470 at 50°C)

침출되었으나 90분 침출에서는  $50^{\circ}\text{C} > 20^{\circ}\text{C} > 30^{\circ}\text{C}$  순이었다. 그리고 90분 이상에서는  $50^{\circ}\text{C} > 30^{\circ}\text{C} > 20^{\circ}\text{C}$  순으로 침출온도가 높을수록 동의 침출량이 많았다. 그러나 알루미늄, 주석, 납 등은 침출온도가 높을수록 침출량이 많았으며 90분 동안 상당량이 침출되었다. 이와 같은 침출거동으로부터 초기 침출반응에서 온도에 따라 동의 침출량이 감소하는 것은 시멘테이션(cementation) 효과 때문으로 생각된다. 알루미늄, 주석, 납의 산화전위는 동에 비하여 상당히 낮다. 따라서 폐인쇄회로판에 약 14 wt% 정도 함유되어 있는 금속 알루미늄, 주석, 납 등은 용해된 동을 시멘테이션 시킴으로써 침출액 중 동의 농도를 저하시킨다. 이러한 시멘테이션은 온도가 높을수록 잘 일어나고 결과적으로 Fig. 6에서 보는바와 같이 침출온도가 높아짐에 따라 동의 침출량을 더욱 감소시킨다. 그러나 대부분의 알루미늄과 주석이 침출되어 시멘테이션 효과가 사라진 90분 후부터 동의 침출이 급격하게 시작되고 온도가 높을수록 침출량의 증가에 따라 침출액에서 동의 농도가 높아졌다.

#### 3.4. 염산농도의 영향

Fig. 7은 인가전류밀도;  $10\text{ mA/cm}^2$ , 침출온도;  $50^{\circ}\text{C}$ , 교반속도;  $400\text{ rpm}$ 의 침출실험조건에서 염산농도의 변화에 따른 구리 침출량을 나타낸 것이다. 모든 농도에서 구리의 본격적인 침출은 60분 이후부터 발생하였으

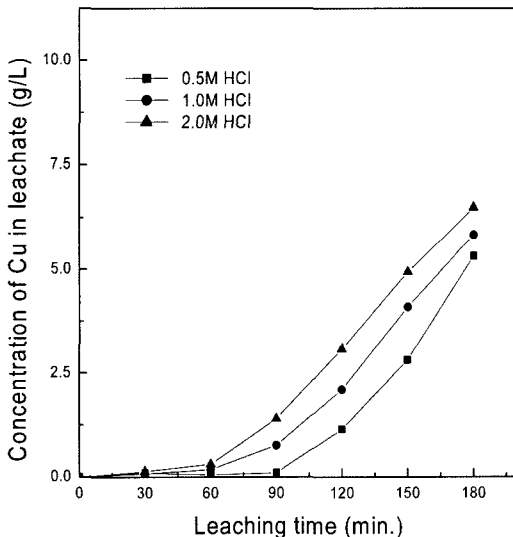


Fig. 7. Effect of HCl concentration on the leaching of Cu by electro-generated chlorine under applied current density of  $10\text{ mA/cm}^2$  at  $50^{\circ}\text{C}$ . (Agitation speed;  $400\text{ rpm}$ , G-value; 6470)

며, 염산농도가 높을수록 동의 침출량은 증가하였다. 180분 동안 침출하였을 때 2M 염산용액은 0.5M 보다 21%가 높은 침출량을 나타내었다. 그리고 2.0M의 조건에서 평균 셀전압이 1.9V인데 비하여 0.5M 조건에서는 2.8V로 상당히 높다. 이러한 높은 셀전압은 침출용액의 이온전도도가 낮기 때문으로 생각되며, 과전압의 증가는 전류효율의 저하를 유발한다.

#### 3.5. 동 침출에 대한 염소의 이용률

전술한 바와 같이 인가전류 및 전압, 염산농도 등이 높을수록 침출제인 염소의 생성량을 증가시키므로 동의 침출속도가 빨라지고 침출량도 증가한다. 그러나 침출의 효율성을 고려한다면 전해생성된 염소의 침출반응에 대한 이용률이 높아야 한다. 본 연구에서는 동 침출에 대한 염소의 이용률을 계산하기 위하여 염소에 의한 동의 침출반응은 식 (3)을 따르는 것으로 가정하였다. 계산의 단순성을 위하여 동을 제외한 금속성분들의 침출에 사용된 염소는 고려하지 않았으며, 염소의 전해생성 시 인가전류효율이 100% 라고 가정하였다. 따라서 계산상의 이용률과 실제의 이용률 수치에 다소 차이가 있을 수도 있으나, 이용률 변화의 경향성분석에는 고려할 만한 영향을 주지 않는다. 전기화학적 산화반응에 의한 염소의 발생전위는 산소의 발생전위보다 높으나 염소발생영역에서 염소발생의 전류효율은 93% 이상인 것

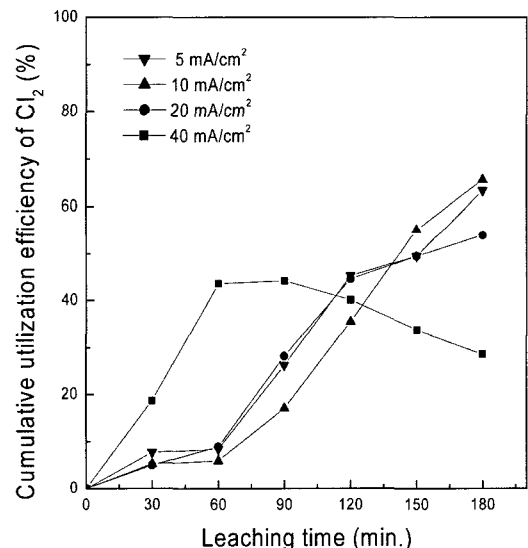


Fig. 8. Effect of current density on the utilization efficiency of  $\text{Cl}_2$  for Cu leaching in 1 M HCl solution at  $50^{\circ}\text{C}$ . (Agitation speed;  $400\text{ rpm}$ , G-value; 6470)

으로 알려져 있다.<sup>16)</sup>

Fig. 8은 Fig. 3에 나타난 동 의 침출실험결과로부터 염소의 이용율을 계산하여 그 결과를 나타낸 그림이다. 인가전류밀도가 20 mA/cm<sup>2</sup> 이하일 때 염소의 이용율은 60분 이후부터 증가하기 시작하였으며 180분경과 시 약 55~60% 정도를 나타내었다. 인가전류밀도가 10 mA/cm<sup>2</sup> 이고 침출시간이 180분일 때 폐인쇄회로기판으로부터 약 90%의 동을 침출할 수 있는 염소가 전해생성 되나 실제 이용율은 65%에 그치고 있다. 초기에 낮은 이용율을 나타내는 것은 전해생성 되는 염소가 동 이외의 알루미늄, 주석, 납 등과 같은 금속들을 침출하는데 소모되었기 때문으로 생각된다. 인가전류밀도가 40 mA/cm<sup>2</sup> 인 경우에는 침출반응 초기에 염소의 이용율이 급격히 증가하였으나 60~90분에서 최고치인 44%를 나타낸 후 점차 감소하였다. 침출반응시간이 90분을 초과함에 따라 염소의 이용율이 감소하는 것은 침출되지 않고 폐인쇄회로기판에 남아있는 동 의 양에 비하여 전해생성되는 염소의 양이 상대적으로 많기 때문이다. 즉, 침출반응 초기에는 동이 상당량 존재하기 때문에 전해생성 되는 염소가 동 의 침출에 이용되는 효율이 높다. 그리고 일정한 침출시간 후 염소는 동일한 속도 및 양으로 계속 생성되는데 비하여 침출반응에 이용될 수 있는 동 의 양은 감소하기 때문에 상당량의 염소가 동 의 침출에 이용되지 못하고 소모되어 결과적으로 이용율이 감소하게 된다. 반면에 인가전류밀도가 낮은 경우에는 염소의 전해생성 속도가 느려서 폐인쇄회로기판에 존재하는 동 의 양보다 과도하지 않게 발생하므로 이용율이 높다. 따라서 전해생성 되는 염소에 의한 금속의 침출 시 염소의 생성속도와 양 그리고 금속의 투입량을 적절히 고려하여 침출조건을 정해야 한다.

교반속도에 따른 동 의 침출실험(Fig. 5)으로부터 염소의 이용율을 구하여 Fig. 9에 나타내었다. 모든 경우에 대하여 단위시간당 발생하는 염소의 양은 동일하다. 교반이 없는 경우에는 염소의 이용율이 6% 미만으로 매우 낮았다. 그러나 교반속도를 증가함에 따라 60분 후부터 동 의 침출에 대한 염소의 이용율이 점차 높아졌다. 동 의 침출에 대한 염소의 이용율은 교반속도가 높아질수록 더욱 증가하였으며 600 rpm에서 180분 동안 침출반응을 진행하였을 때 90%를 나타내었다. 교반에 따라 전해생성 되는 염소의 이용율이 증가하는 것은 식 (2)의 물질이동과 식 (3)-(5)의 침출과정이 매우 효율적으로 일어나고 있음을 의미한다.

Fig. 10은 염산용액; 1 M, 인가전류밀도; 10 mA/cm<sup>2</sup>,

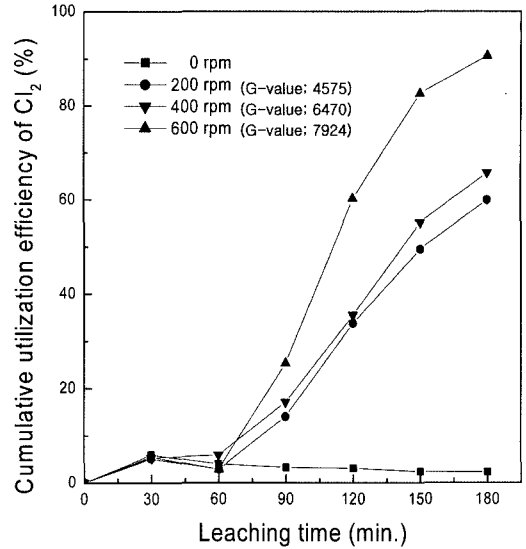


Fig. 9. Effect of agitation speed on the utilization efficiency of Cl<sub>2</sub> for Cu leaching in 1 M HCl solution at 50°C. (Applied current density; 10 mA/cm<sup>2</sup>)

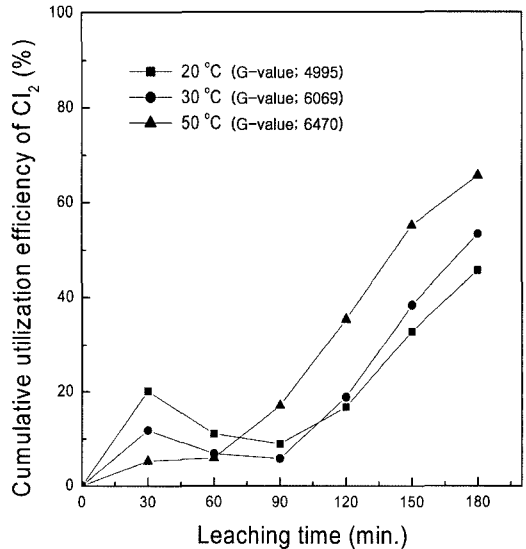


Fig. 10. Effect of leaching temperature on the utilization efficiency of Cl<sub>2</sub> for Cu leaching in 1 M HCl solution under applied current density of 10 mA/cm<sup>2</sup>. (Agitation speed; 400 rpm)

교반속도; 400 rpm의 실험조건에서 침출온도를 변화시키면서 동을 침출하였을 때 염소의 이용율을 나타낸 것이다. 침출반응 초기에는 낮은 온도에서 염소의 이용율이 높았으나 침출시간이 60분 이상 경과함에 따라 온도가 높을수록 염소의 이용율이 증가하였다. 이것은 Fig.

6에서 보는바와 같이 동 의 침출경향과 잘 일치하였다.

#### 4. 결 론

염산용액에서 전해생성 된 염소를 이용하여 폐인쇄회로기판으로부터 동을 침출하는 연구를 수행하였다. 페프린터로부터 배출된 인쇄회로기판을 분쇄한 다음 입자 크기가 0.6~1.2 mm인 비자성 성분을 선별하여 침출실험을 행하여 다음과 같은 결과를 얻었다.

1. 50°C에서 1 M 염산용액에 의한 동 의 침출은 거의 일어나지 않았으나 동일한 침출조건에서 전류를 인가함으로써 전해생성 된 염소에 의해 동 의 침출이 급격히 일어났다.

2. 전해생성 된 염소에 의한 동 의 침출 시 인가전류 밀도, 인가전압, 교반속도, 침출온도 그리고 염산농도가 높아질수록 동 의 침출속도 및 침출량이 증가하였으며 특히 인가전류밀도 및 인가전압이 증가함에 따라 동 의 침출이 본격적으로 일어나는 시간이 빨라졌다.

3. 염산농도; 1 M, 침출온도; 50°C, 인가전류밀도; 10 mA/cm<sup>2</sup>의 침출조건에서 용액의 교반 없이 180분 동안 침출하였을 때 동이 거의 침출되지 않았으나 교반속도를 600 rpm으로 증가함에 따라 침출율이 약 86%로 급격히 증가하였다. 이것은 염소의 이동속도가 증가하고 결과적으로 동 표면과의 접촉기회가 커지기 때문이다.

4. 침출반응 초기에는 알루미늄, 주석, 납 등 기타 성분과 동사이의 시멘테이션 효과에 의하여 침출온도가 낮을수록 동 의 침출량이 많았다. 그러나 침출시간이 경과함에 따라 이러한 효과는 감소하고 침출온도가 높을수록 동 의 침출량이 많아졌다.

5. 인가전류밀도가 높아질수록 단위시간당 염소 발생량의 증가로 동 의 침출율은 높아졌으나 염소의 이용율은 오히려 저하되었다. 이러한 염소의 이용율은 동일 전류밀도 조건에서는 교반속도가 증가할수록 높아졌다.

#### 참고문헌

1. Brodersen, K., *et al.*, 1992: "Scrap of Electronics; Hazardous Waste or Raw Material Resources", Proc. of Intern. Conf. on the Recycling of Metals, MIS of ASM, pp. 45-51, The European Council of ASM Intern. and its Technical Committee, Dusseldorf/aecuss-Germany, 13-15 May 1992, Printed in Belgium.
2. 이재천, 2004: "전자제품 재활용", 리사이클링백서, 산업 폐기물재활용기술개발산업단, 한국자원리사이클링학회, pp. 546-578, 청문각, 서울, 한국.
3. 강홍윤, 2004: "국내의 자원순환시스템 현황 및 개선방안", KNPC 2004 RE-4 연구보고서, 국가청정생산지원센터 편, pp. 82-105, 서울, 한국.
4. Sun, Elaine Y.L., 1991: "The Recovery of Metals from Electronic Scrap", JOM, **43**(4), pp. 53-61.
5. Setchfield, J.H., 1987: "Electronic Scrap Treatment at Engelhard", Precious Metals 1987, ed. Vermeylen, G. and Verbeeck, R., IPMI, pp. 147-164, Allentown, PA, USA.
6. Hedlund, L. and Johansson, L., 1985: "Recent Developments in the Boliden Lead Kaldo Plant", Recycle and Secondary Recovery of Metals, Taylor, P.R., Sohn, H.Y., and Jarrett, N., TMS, pp. 787-796, Warrendale, PA, USA.
7. Kaltenboeck, J., *et al.*, 1985: Metal(Berlin), **39**(11), pp. 1047-1048.
8. Edson, G., 1981: "Recovery of Precious Metals from Electronic Scrap", Recovering and Refining of Precious Metals, IPMI, Paper 10, Skytop, PA, USA.
9. Dunning, Jr., B.W., 1986: "Precious Metals Recovery from Electronic Scrap and Solder used in Electronics Manufacture", Precious Metals Recovery Low Grade Resources, IC 9059, U.S. Bureau of Mines, pp. 44-56, Washington, D.C., USA.
10. Day, J.G., 1984: U.S. patent 4,427,442.
11. Koyama, K., Tanaka, M., and Lee, J.-C., 2003: "Copper Recovery from Waste Printed Circuit Board", Hydrometallurgy 2003 - Proceedings of the Fifth International Symposium Honoring of Professor Ian M. Ritchie, Vol. 2: Electrometallurgy and Environmental Hydrometallurgy, Young, C.A., *et al.*, pp. 1555-1563, TMS/SME/CIM, August 24-27, 2003, Vancouver BC, Canada.
12. Kobayashi, M., 2000: "Current Research Projects for the Development of Hydrometallurgical Process to Refine Chalcopyrite", Shigen-to-Sozai, 116, pp. 1-6.
13. Hämmäläinen, M., Hyvärinen, O., and Jyrälä, M., 2003: "SOLUTION PURIFICATION IN THE OUTOKUMPU HYDROCOPPER™ PROCESS", Hydrometallurgy 2003- Proceedings of the Fifth International Symposium Honoring of Professor Ian M. Ritchie, Vol. 1, Young, C.A., *et al.*, pp. 545-553, TMS/SME/CIM, August 24-27, 2003, Vancouver BC, Canada.
14. Bard, A.J., Parsons, P., and Jordan, J., 1985: "Standard Potentials in Aqueous Solution", Marcel Dekker, INC., New York, USA, pp. 287-294.
15. Alex, P., Mukherjee, T.K., and Sundaresan, M., 1993: "Leaching behavior of nickel in aqueous chlorine solutions and its application in the recovery of nickel from a spent catalyst", Hydrometallurgy, Vol. **34**, pp. 239-253.
16. Derek Pletcher, 1982: "The Chlor-alkali Industry, Industrial Electrochemistry", Chapman and Hall, London, UK, pp. 88-113.



---

**金 珉 爽**

- 현재 한국지질자원연구원 자원활용소재연구부 금속회수연구실
- 본 학회지 제13권 1호 참조

---

**李 在 天**

- 현재 한국지질자원연구원 자원활용소재연구부 부장
- 본 학회지 제10권 6호 참조

---

**鄭 鎭 己**

- 현재 한국지질자원연구원 자원활용소재연구부 금속회수연구실 실장
- 본 학회지 제10권 6호 참조

---

**金 炳 洙**

- 현재 한국지질자원연구원 자원활용소재연구부 금속회수연구실
- 본 학회지 제13권 1호 참조

---

**金 銀 暎**

- 1999년 경상대학교 지질학과 졸업
  - 2001년 경상대학교 지구환경과학과 대학원 졸업
  - 현재 과학기술연합대학원대학교 폐자원활용전공 박사과정 재학
-